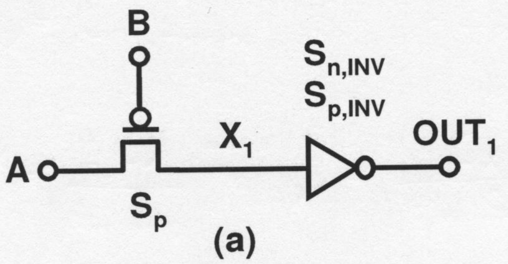
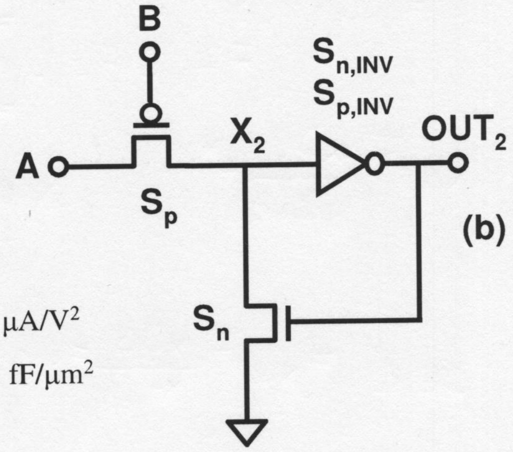
E	E1	E2	E3	Totale
	/2	/3	/4	



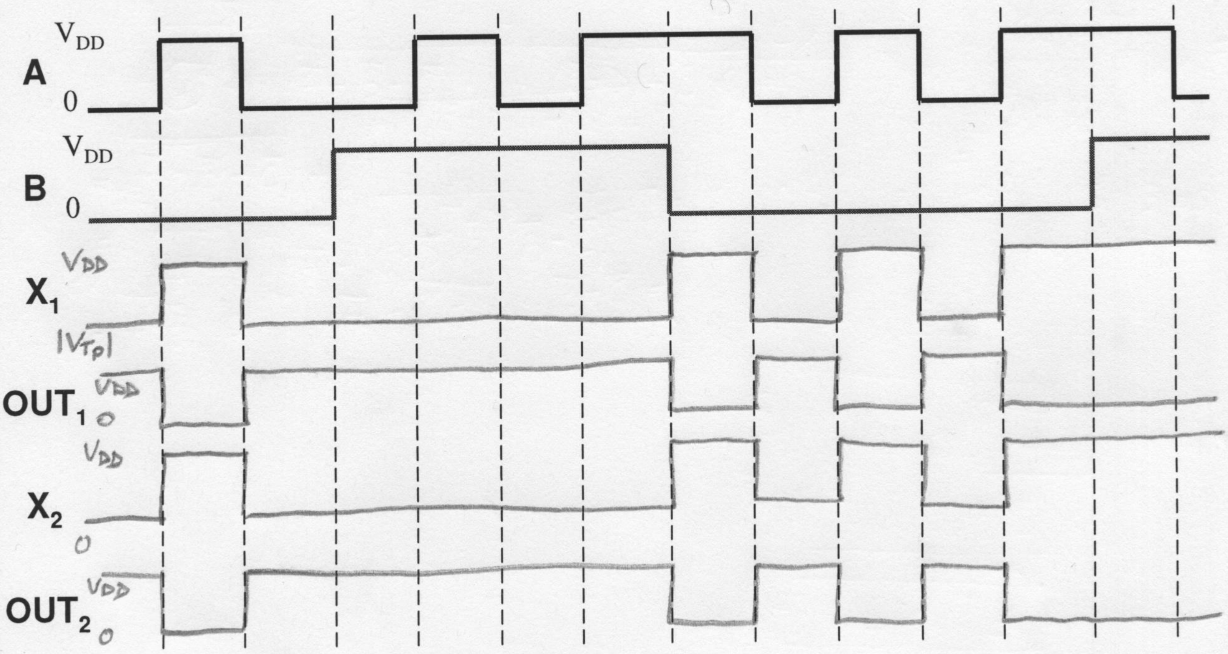


$V_{DD} = 3{,}3V$ $\quad V_{Tn} = |V_{Tp}| = 0{,}7V$ $\quad \beta'_n = 100\ \mu A/V^2$

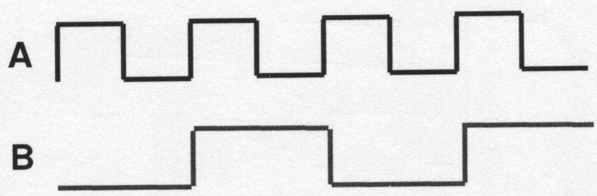
$\beta'_p = 50\ \mu A/V^2$ $\quad L_{min} = 0{,}35\ \mu m$ $\quad C_{ox} = 3{,}45\ fF/\mu m^2$

$S_{n,INV} = 20$ $\quad S_{p,INV} = 7$

1) Gli ingressi A e B variano secondo le forme d'onda riportate nella figura sottostante per entrambi i circuiti (a) e (b). Tracciare le corrispondenti forme d'onda dei segnali X_1, OUT_1, X_2, OUT_2 specificando per ciascuno il livello di tensione dei valori logici basso e alto (si considerino i transitori istantanei).



2) Si consideri il circuito (a). Siano gli ingressi A e B pilotati con le onde quadre in figura con $f_A = 4$ MHz e $f_B = 2$ MHz e la capacità di carico sia $C_L = 25$ fF. Determinare la potenza media dissipata.



3) Si consideri il circuito (b). Considerando per l'inverter un modello ideale ($V_{O,INV} = V_{DD}$ se $V_{I,INV} < V_{LT}$, $V_{O,INV} = 0$ se $V_{I,INV} > V_{LT}$) e assumendo $S_n = 3$ si determini il minimo valore di S_p che garantisce la corretta commutazione del circuito.

(2) $B=1 \Rightarrow X_1$ isolato OUT_1 costante nessuna dissipazione di potenza

$B=0 \Rightarrow A=0 \rightarrow V_{DD}$ eroga potenza per caricare il nodo $OUT1$

$A=1 \rightarrow V_{DD}$ eroga potenza per caricare il nodo X_1

$$C_X = C_{OX} L_{min}^2 (S_{nINV} + S_{pINV}) = 3{,}45 \cdot 10^{-15} \cdot (0{,}35)^2 \cdot 27 = 11{,}41 \ fF$$

$$E_{TOT} = V_{DD} \cdot C_X (V_{DD} - |V_{Tp}|) + V_{DD} \cdot C_L V_{DD}$$

$$\overline{P_{DISS}} = \frac{E_{TOT}}{T_B} = E_{TOT} \cdot f_B = f_B V_{DD} \left[C_X (V_{DD} - |V_{Tp}|) + C_L V_{DD} \right] =$$

$$= 2 \cdot 10^6 \cdot 3{,}3 \cdot \left[11{,}41 \cdot 2{,}6 + 25 \cdot 3{,}3 \right] \cdot 10^{-15} = 0{,}74 \ \mu W$$

(3)
$$V_{LT} = \frac{V_{DD} - |V_{Tp}| + \sqrt{\frac{\beta_n}{\beta_p}} V_{Tn}}{1 + \sqrt{\frac{\beta_n}{\beta_p}}}$$

$$\frac{\beta_n}{\beta_p} = \frac{\beta'_n S_{nINV}}{\beta'_p S_{pINV}} = 2 \cdot \frac{20}{7}$$

$$\sqrt{\frac{\beta_n}{\beta_p}} = \sqrt{\frac{40}{7}} = 2{,}39$$

$$V_{LT} = \frac{3{,}3 - 0{,}7 + 2{,}39 \cdot 0{,}7}{1 + 2{,}39} = \frac{4{,}273}{3{,}39} = 1{,}26 \ V$$

La fase critica è la carica di X_2. Se $X_2 \uparrow$ allora $I_{SD_{PMOS}} \downarrow$

Si deve garantire $I_{SD_{PMOS}} \geq I_{DS_{NMOS}}$ per $V_{X_2} = V_{LT}$ in modo che l'inverter commuti ($OUT_2 : V_{DD} \rightarrow 0$)

$V_B = 0 \quad V_A = V_{DD} \rightarrow$ se $V_{X_2} = V_{LT}$ N e P in regione triodo.

$$I_{DS_N} = \frac{\beta_n}{2} \left[2 (V_{DD} - V_{Tn}) \cdot V_{LT} - V_{LT}^2 \right] = \frac{\beta_n}{2} \cdot 4{,}9644$$

$$I_{SD_P} = \frac{\beta_p}{2} \left[2 (V_{DD} - |V_{Tp}|) \cdot (V_{DD} - V_{LT}) - (V_{DD} - V_{LT})^2 \right] = \frac{\beta_p}{2} \cdot 6{,}4464$$

$$\frac{\beta_p}{2} \cdot 6{,}4464 \geq \frac{\beta_n}{2} \cdot 4{,}9644 \qquad S_p \geq \frac{\beta'_n}{\beta'_p} \cdot S_n \cdot \frac{4{,}9644}{6{,}4464} = 4{,}62$$